Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 16, No. 2, Summer. 2018, p. 333-344

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۶، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۷، ص. ۳۴۴-۳۳۳

اثر تنش خشکی بر خصوصیات فلورسانس کلروفیل و عملکرد علوفه دو رقم ارزن علوفه‌ای (*Pennisetum americanum var. nutrifeed* and *Punicum sp var. pishahang*)

کبری نجفی بابادی[۱]- پیمان حسیبی[۲*]- حبیب اله روشنفکر[۲]- سعید برومند نسب[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۴/۲۰
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۲/۰۹

چکیده

به‌منظور بررسی اثر تنش خشکی روی برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی دو رقم ارزن علوفه‌ای آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شهید چمران اهواز انجام شد. عامل اول دو رقم ارزن علوفه‌ای شامل نوتریفید و پیشاهنگ و عامل دوم تنش خشکی در چهار سطح شامل تأمین ۱۰۰درصد نیاز آبی به‌عنوان شاهد، ۷۵، ۵۰، ۲۵ درصد نیاز آبی بود. مقدار آب آبیاری در هر تیمار بر مبنای ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A محاسبه شد. بیشترین عملکرد ماده خشک در رقم نوتریفید در شرایط شاهد و کمترین عملکرد ماده خشک در رقم پیشاهنگ در ۲۵ درصد تأمین نیاز آبی به‌دست آمد. میزان پرولین و نفوذپذیری نسبی غشاء در هر دو رقم طی تنش همواره بیشتر از شاهد بود و با افزایش سطح تنش خشکی میزان پرولین افزایش یافت. بیشترین میزان نفوذپذیری نسبی غشا در رقم پیشاهنگ در ۲۵ درصد تأمین رطوبت و کمترین میزان نفوذپذیری نسبی غشاء در رقم نوتریفید در شاهد به‌دست آمد. با افزایش سطح تنش محتوای نسبی آب برگ، عملکرد ماده خشک، پتانسیل اسمزی، هدایت روزنه‌ای، بیشینه کارآیی فتوسنتزی فتوسیستم II (Fv/Fm)، فرود فتوشیمیایی (qP) و عملکرد کوآنتومی فتوسیستم دو کاهش یافتند. عملکرد ماده خشک همبستگی مثبت و معنی‌دار با هدایت روزنه‌ای، محتوای نسبی آب برگ، شاخص کلروفیل (عدد SPAD)، عملکرد کوآنتومی فتوسیستم II و Fv/Fm داشت. ارزن نوتریفید نسبت به رقم پیشاهنگ هم در شرایط غیر تنش و هم در شرایط تنش از کارایی مصرف آب بهتری برخوردار بود و به‌نظر می‌رسد این رقم در شرایط محدودیت آب آبیاری بتواند از تولید علوفه مناسبی برخوردار باشد.

واژه‌های کلیدی: پتانسیل اسمزی، عملکرد کوآنتومی فتوسیستم II، محتوای نسبی آب برگ، Fv/Fm

مقدمه

خشکی، محدودیتی برای تولید موفقیت‌آمیز محصولات زراعی در سراسر جهان است (Martin *et al.*, 1993). فتوسیستم II نقش مهمی در پاسخ فتوسنتزی به عوامل محیطی در گیاهان عالی بازی می‌کند و تکنیک فلورسانس کلروفیل در سال‌های اخیر در مطالعات اکوفیزیولوژی گیاهی به‌عنوان یک روش سریع، حساس و غیرتخریبی مورد توجه بسیار قرار گرفته است (Baker and Rosenqvist, 2004). در این تکنیک از شاخص‌ها و روش‌های متعددی برای مطالعه فرآیندهای دخیل در خاصیت فلورسانس کلروفیل استفاده می‌گردد. به‌عنوان مثال، در برگ سازگار شده با تاریکی پارامتر بیشینه کارآیی فتوسنتزی فتوسیستم II (Fv/Fm) شاخص مناسبی برای عملکرد فتوسنتزی گیاه می‌باشد (Gholam *et al.*, 2002). در بررسی کربن فتوسنتزی و متابولیسم با شرایط تنش کمبود آب مشاهده شده است که در شرایط تنش کمبود آب، کاهش ماده خشک می‌تواند به دلیل کاهش فشار آماس سلول و ناشی از کاهش سطح برگ گیاه و همچنین کاهش نرخ فتوسنتزی به دلیل محدودیت بیوشیمیایی ناشی از کمبود آب از قبیل خسارت به رنگدانه‌های فتوسنتزی به‌خصوص کلروفیل‌ها باشد (Lawlor and Cornic, 2002). با توجه به این امر که تحت تنش خشکی، پتانسیل آب گیاه کاهش می‌یابد، بنابراین گیاه در طی روز با بسته نگاه داشتن روزنه‌ها، تا حدی محتوای نسبی آب برگ را کنترل می‌نماید، مسدود شدن روزنه‌ها نیز سبب افزایش شدت خسارت تنش اکسیداتیو، تخریب کلروفیل‌ها و کاهش محتوی کلروفیل برگ می‌گردد. میزان محتوای نسبی آب برگ به‌عنوان بهترین معیار اندازه‌گیری وضعیت آب گیاه معرفی شده است (Blum,

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز
۲- دانشیار، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز
۳- استاد، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز
(*- نویسنده مسئول: Email: paymanhassibi@gmail.com)
DOI: 10.22067/gsc.v16i2.57398

1999). هنگامی که گیاهان به‌وسیله تنش‌های خشکی، شوری، دماهای پایین و سایر فاکتورهایی که باعث کاهش پتانسیل آب سلولی می‌شوند تحت تأثیر قرار می‌گیرند، باید غلظت اسمولیت‌هایشان را افزایش دهند تا جذب آب تحت شرایط تنش ادامه یابد. در بین اسمولیت‌های آلی، پرولین احتمالاً فراوان‌ترین و عمومی‌ترین ماده حل شده سازگار است که تجمع می‌یابد (Jonson *et al*., 1993). تنش خشکی روی گیاه کوشیا (*Kochia scoparia*) باعث کاهش محتوای نسبی آب، هدایت روزنه‌ای، فتوسنتز و کاهش پایداری غشاء نسبت به تیمار شاهد شد، اما با حذف تنش و آبیاری مجدد، در مدت چند روز گیاهان بازیافت شدند و در مرحله آبیاری مجدد ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در آنها اختلاف معنی‌داری با شاهد نداشتند. بین ویژگی‌های اندازه‌گیری شده، نشت الکترولیت و فلورسانس کلروفیل در تمام مراحل کمترین تغییر را داشتند که این موضوع می‌تواند به دلیل متحمل بودن این گیاه به شرایط تنش، عدم تخریب غشاهای سلولی و واحدهای فتوسنتزی باشد (Masoumi *et al*., 2008). ابراهیم (Ibrahim, 1985) خصوصیات زراعی و فیزیولوژیک ارزن مرواریدی (*Pennisetum americanum*) تحت تنش خشکی را مورد بررسی قرار داد. وی گزارش نمود که تنش آبی رشد و اجزای عملکرد را به‌طور معنی‌دار تحت تأثیر قرار می‌دهد. ارزن نوتریفید هیبرید *Pennisetum* است که در این جنس تعداد زیادی از گیاهان علفی نیز وجود دارند. این هیبرید به دنبال بررسی‌های مزرعه‌ای فشرده در تابستان ۸۹–۱۹۸۸ توسط شرکت پاسیفیک سیدز استرالیا آزاد و توسط اسلاتر و استیوارت (Slatter and stuart, 1995) به بازار معرفی گردید. با توجه به اهمیت توسعه کاشت گیاهان علوفه‌ای چهار کربنه نظیر انواع ارزن علوفه‌ای در افزایش تولیدات علوفه در مناطق نیمه گرمسیری کشور مانند اهواز و از طرفی نیاز به شناخت واکنش آن گیاهان به اثر تنش کم آبی ناشی از خشکسالی‌های پیاپی در خوزستان، هدف از این آزمایش مطالعه اثر تنش خشکی روی عملکرد علوفه خشک دو رقم ارزن علوفه‌ای نوتریفید و پیشاهنگ به همراه بررسی برخی خصوصیات فیزیولوژیک و تغییرات فلورسانس کلروفیل در ارقام مورد مطالعه بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش طی سال زراعی ۹۰–۱۳۸۹ در مزرعه تحقیقاتی گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشگاه شهید چمران اهواز واقع در عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۲۰ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۰ درجه و ۴۸ دقیقه شرقی و ارتفاع ۲۰ متر از سطح دریا به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار در گلدان در خارج از محیط گلخانه (Benes *et al*., 1996) انجام شد. عامل اول در این آزمایش، دو رقم ارزن علوفه‌ای شامل نوتریفید و پیشاهنگ و عامل دوم تنش خشکی در ۴ سطح شامل تأمین ۱۰۰٪ نیاز آبی به‌عنوان شاهد بدون تنش، تأمین ۲۵٪، ۵۰٪ و ۷۵٪ نیاز آبی به‌ترتیب به‌عنوان تنش‌های شدید، متوسط و ملایم خشکی بود. مقدار آب آبیاری در هر تیمار بر مبنای ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A مستقر در ایستگاه هواشناسی واقع در مجاورت مزرعه تحقیقاتی گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشگاه چمران اهواز محاسبه شد. با توجه به میزان تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر و در نظر گرفتن ضریب گیاهی (Kc) میزان تبخیر و تعرق تعیین شد و بر اساس تخلیه رطوبتی خاک و طبق تیمارهای آزمایش و پس از تعیین FC و ترسیم منحنی رطوبتی خاک، میزان آب مورد نیاز مورد محاسبه قرار گرفت و سپس حجم آب مورد نیاز برای هر دور آبیاری تیمارها تأمین گردید (Badbezanchi and Broomand Nasab, 2008; Masjedi *et al*., 2007). در این آزمایش از گلدان‌های پلاستیکی دارای حجم ۱۵ لیتر استفاده شد. آنالیز خاک مورد استفاده نشان داد که بافت خاک از نوع لومی رسی، با هدایت الکتریکی ۱/۳۶ و میزان واکنش ۷/۷۹ بود. برای ایجاد شرایط مشابه با مزرعه و ممانعت از افزایش حرارت خاک، گلدان‌ها زیر خاک قرار داده شدند. در هر گلدان پنج بوته کشت گردید. زمان اعمال تیمار بر اساس مرحله فنولوژیک رشد پس از ۴–۵ برگی شدن گیاه بود. نمونه‌برداری‌ها از ۵۰ روز پس از کاشت آغاز و به فاصله زمانی هر دو هفته یکبار صورت گرفت و آخرین نمونه‌برداری ۸۰ روز پس از کاشت انجام گرفت. در هر تیمار پنج گلدان قرار گرفت و مبنای محاسبه ماده خشک بر اساس ۱۵ گیاه مستقر در سه گلدان قرار گرفت. یک چین علوفه در این آزمایش بررسی شد و صفات مورد مطالعه عبارت بودند از هدایت روزنه‌ای با دستگاه پرومتر (مارک ELE ساخت انگلستان)، شاخص کلروفیل با دستگاه کلروفیل‌متر SPAD-502 (مارک مینولتا ساخت ژاپن)، پتانسیل اسمزی با استفاده از اسمومتر (مارک Vescor ساخت آمریکا) (Martinez *et al*., 2004)، نفوذپذیری نسبی غشاء (Zhao *et al*., 1992)، غلظت پرولین (Bates *et al*., 1973)، محتوای نسبی آب برگ (Ritchie and Nguyen, 1990) و فلورسانس کلروفیل از آخرین برگ توسعه یافته (برگی که زبانک آن مشخص شد) با استفاده از دستگاه فلئورومتر پرتابل (مدل FMS2 ساخت انگلستان) در دو حالت برگ سازگار شده با نور و برگ سازگار شده با تاریکی اندازه‌گیری شد. فلورسانس کلروفیل پس از اعمال تیمار خشکی هر ۱۰ روز یک بار اندازه‌گیری و مورد بررسی قرار گرفت. مؤلفه‌های فلورسانس کلروفیل شامل کمینه فلورسانس از برگ سازگار شده با تاریکی (F0)، کمینه فلورسانس از برگ سازگار شده با نور (F_t)، بیشینه فلورسانس در برگ سازگار شده با تاریکی (Fm)، بیشینه فلورسانس از برگ سازگار شده با نور ($Fm^{/}$)، فلورسانس متغیر (Fv) و بیشینه عملکرد کوآنتومی فتوسیستم II در شرایط سازگار شده با تاریکی (Fv/Fm)، عملکرد کوآنتومی فتوسیستم II در شرایط سازگار شده با نور، qP (فرود فتوشیمیایی کلروفیل

برانگیخته یا تولید ATP, NADPH) و qN (فـرود غیرفتوشـیمیایی) محاسبه شد. شـاخص حساسـیت بـه تـنش (Fisher and Muarer, 1978) با استفاده از معادله‌های زیر مورد استفاده قرار گرفت:

SSI=1-(Ys/Yp)/ Si (معادله ۱)

Si=1- (ys/yp) (معادله ۲)

در معادلات ۱ و ۲:

SSI= شاخص حساسیت به تنش

Si= شدت سختی محیط

Yp= عملکرد هر ژنوتیپ در محیط بدون تنش

Ys= عملکرد هر رقم در محیط تنش

yp = میانگین عملکرد کلیه رقم‌ها در محیط بدون تنش

ys= میانگین عملکرد کلیه رقم‌ها در محیط تنش

تجزیه و تحلیل‌های آماری با نرم‌افزار SAS Ver 9.2 انجام شد. همچنین تمامی مقایسه میانگین‌ها بر اساس روش چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت.

نتایج و بحث

اثـر متقابـل رقـم و سـطوح تـنش خشـکی بـه‌طـور معنـی‌داری نفوذپذیری نسبی غشاء را تحت تأثیر قرار داد (جـدول ۱). نفوذپـذیری نسبی غشاء در ارقام و سطوح خشکی مورد بررسی به‌طور معنـی‌داری تحت تأثیر قرار گرفت. میزان نفوذپذیری نسبی غشـا در هـر دو رقـم طی تنش همواره بیشتر از شاهد بود و با افزایش سطوح خشکی میزان نفوذپـذیری نسـبی غشـا کـه بیـانگر میـزان نشـت الکترولیـت‌هـا از سلول‌های برگ به دلیل خسارت به فسـفولیپیدهای غشـاء مـی‌باشـد، افـزایش یافـت. بیشـترین میـزان نفوذپـذیری نسـبی غشـاء در رقـم پیشاهنگ در تیمار ۲۵درصد تأمین نیاز آبی (۳۷ درصد افزایش نسـبت به شاهد) و کمترین میزان نفوذپذیری نسبی غشا در رقم نوتریفیـد در تیمار شاهد به‌دست آمد (جدول ۲).

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های محتوای نسبی آب برگ نشان داد که میان سطوح تنش خشکی اختلاف معنی‌دار وجود داشـت (جدول ۱). اعمال خشکی سبب کاهش محتـوای نسـبی آب بـرگ در رقم‌های ارزن شد (جدول ۲). بیشترین مقدار محتوای نسبی آب بـرگ در رقـم نوتریفیـد در تیمـار شـاهد و کمتـرین مقـدار در رقـم ارزن پیشاهنگ در ۲۵ درصد تأمین نیاز آبی (۱۰ درصد کـاهش نسـبت بـه شاهد) مشاهده شد (جدول ۲).

شاخص کلروفیل (عدد SPAD) برگ بین ارقام و سطوح خشـکی اختلاف معنی‌دار نشان داد (جدول ۱) با افزایش سطح خشکی شاخص کلروفیل کاهش یافت. اثر متقابل رقم و خشـکی بـه‌طـور معنـی‌داری شاخص کلروفیل را تحت تأثیر قرار داد (جدول ۲). بیشترین میـزان در تیمار شاهد رقم نوتریفید و کمترین میزان در رقم پیشـاهنگ و در ۲۵ درصد تأمین نیاز آبی (به میزان ۱۶/۸ درصد کاهش نسبت بـه شـاهد) مشاهده شد (جدول۲).

نتایج نشان داد که بین رقم و سطوح خشکی از لحاظ پرولین برگ اختلاف معنی‌داری وجود داشت. همچنین اثرات متقابل رقم و خشکی صفت مذکور معنی‌دار بود (جدول ۱). میزان پرولین در هر دو رقم طی تنش خشکی همواره بیشتر از شاهد بود و با افـزایش سـطح خشـکی میزان پرولین افزایش یافت (جدول ۲). بیشترین میزان پرولین در رقم نوتریفید در ۲۵ درصد تأمین آب (به میزان ۶۲ درصد افـزایش نسـبت به شاهد) و کمترین میزان پرولین در رقـم نوتریفیـد در تیمـار شـاهد به‌دست آمد (جـدول ۲). ارقـام و سـطوح خشـکی بـر مقـدار هـدایت روزنه‌ای در سطح آماری یک درصد اثر معنی‌داری داشتند.

اثر متقابل رقم و خشکی نیز هدایت روزنه‌ای را تحت تـأثیر قـرار داد (جدول ۲). میزان هدایت روزنه‌ای در هر دو رقم با افزایش سطوح تنش همواره کمتر از شاهد بـود. بیشـترین هـدایت روزنـه‌ای در رقـم نوتریفید و تیمار شـاهد و کمتـرین میـزان هـدایت روزنـه‌ای در رقـم پیشاهنگ در ۲۵ درصد تأمین آب ۶۷ درصد کاهش نسبت به شـاهد) مشاهده شد (جدول ۲).

میان سطوح تنش خشکی و همچنین اثر متقابل رقم و خشکی از نظر پتانسیل اسمزی تفاوت وجود داشت و همچنـین بـین دو رقـم در سطح پنج درصد تفاوت معنی‌دار بود (جدول ۲). منفـی‌تـرین پتانسـیل اسمزی در رقم نوتریفید در ۲۵ درصد تأمین آب (به میزان ۴۷ درصـد کاهش نسبت به شاهد) و بیشترین میـزان پتانسـیل اسـمزی در رقـم پیشاهنگ در تیمار شاهد مشاهده شد (جدول ۳).

اعمال خشکی در مراحل مختلف سبب کاهش عملکرد کوآنتـومی فتوسیستم II در دو رقم ارزن شد (جدول ۲). نتایج حاصـل از تجزیـه واریانس داده‌ها نشان داد که بـین ارقـام و سـطوح خشـکی اخـتلاف معنی‌دار وجود داشت. همچنین اثر متقابل رقم و خشکی این صـفت را تحت تأثیر قرار داد (جدول ۱). عملکرد کوآنتومی فتوسیسـتم II رقـم نوتریفید در تیمار شاهد و برای رقم پیشـاهنگ در تیمـار شـاهد بـود. میان ارقام و سطوح مختلف و اثر متقابل ارقام و سطوح خشکی تفاوت معنی‌دار از لحاظ فـرود فتوشـیمیایی (qP) وجـود داشـت (جـدول ۱). اعمال خشکی بر دو رقم ارزن در مراحل مختلف سبب کـاهش فـرود فتوشیمیایی شد و در نتیجه کاهش فراهمی انرژی متابولیکی (ATP و NADPH) شد. بیشترین فرود فتوشیمیایی در رقـم نوتریفیـد در ۱۰۰ درصد تأمین نیاز آبی و کمترین در رقم پیشاهنگ و سـطح تـأمین ۲۵ درصد نیاز آبی (کاهش ۱۳ درصدی نسـبت بـه شـاهد) مشـاهده شـد (جدول ۲). حداکثرعملکرد کوآنتـومی فتوسیسـتم II در شـرایط بـرگ سازگار شده با تاریکی (Fv/Fm) اثر سطوح تنش خشکی بـر Fv/Fm معنی‌داری بود (جدول ۱). تفاوت معنی‌دار بین دو رقم مورد مطالعـه و اثر متقابل رقم و سطوح خشکی مشاهده شد (جـدول ۲). بـا افـزایش تنش مقدار Fv/Fm کاهش یافت. رقم ارزن نوتریفید در تیمـار شـاهد

بیشترین و رقم پیشاهنگ درآخرین سطح تنش (کاهش ۲۷ درصدی نسبت به شاهد) کمترین مقدار را داشت (جدول ۲). میان سطوح تنش خشکی از نظر فرود غیر فتوشیمیایی انرژی الکترون برانگیخته (NPQ) کاهش معنی‌داری وجود داشت (جدول ۱). رقم‌های نوتریفید و پیشاهنگ از نظر NPQ نیز اختلاف معنی‌داری نشان دادند. همچنین اثر متقابل رقم و سطوح خشکی دارای تفاوت معنی‌دار بود (جدول ۲). ارزن نوتریفید در سطح تأمین ۲۵ درصد نیاز آبی بیشترین (افزایش ۵۶ درصدی نسبت به شاهد) و رقم پیشاهنگ در تیمار شاهد کمترین مقدار NPQ را نشان داد (جدول ۲).

ارقام و سطوح تنش خشکی بر ماده خشک کل در سطح آماری یک درصد اثر معنی‌داری داشتند (جدول ۱). میزان ماده خشک در هر دو رقم با افزایش شدت تنش همواره کمتر از شاهد بود. ارزن نوتریفید از ماده خشک بیشتری نسبت به رقم پیشاهنگ برخوردار بود. بیشترین ماده خشک در رقم نوتریفید و تیمار شاهد و کمترین میزان ماده خشک در رقم پیشاهنگ و سطح ۲۵ درصد تأمین نیاز آبی (کاهش ۵۷ درصدی نسبت به شاهد) مشاهده شد (جدول ۲).

شاخص حساسیت به تنش (SSI) با استفاده از عملکرد ماده خشک کل در تیمار تأمین ۷۵ درصد نیاز آبی در رقم پیشاهنگ (۱/۶۷) در گروه حساس و برای رقم نوتریفید (۰/۵۶) در گروه نیمه‌متحمل قرار داشت (جدول ۳). این صفت در سطح تأمین ۵۰ درصد نیاز آبی در رقم نوتریفید در گروه نیمه‌متحمل و برای رقم پیشاهنگ (۱) نیمه‌حساس بود. در سطح تأمین ۲۵ درصد تبخیر از تشتک رقم نوتریفید (۱/۰۶) نیمه‌حساس و پیشاهنگ (۰/۸۶) در گروه نیمه‌متحمل قرار داشت.

نتایج نشان داد که از لحاظ کارایی مصرف آب آبیاری بین ارقام و سطوح تنش خشکی اختلاف معنی‌دار وجود داشت. همچنین اثر متقابل رقم و خشکی توانست کارایی مصرف آب را تحت تأثیر قرار دهد. بیشترین کارآیی مصرف آب آبیاری در ارزن نوتریفید در شرایط تأمین ۵۰ درصد نیاز آبی و کمترین کارآیی مصرف آب در ارزن پیشاهنگ در تیمار شاهد اندازه‌گیری شد.

با توجه به نتایج اثرات متقابل دو فاکتور مورد بررسی، طی تنش خشکی صفات، محتوای نسبی آب برگ، RWC، شاخص کلروفیل، پرولین، هدایت روزنه‌ای، عملکرد کوآنتومی و حداکثر عملکرد کوآنتومی فتوسیستم II، فرود فتوشیمیایی، فرود غیر فتوشیمیایی، عملکرد ماده خشک، کارآیی مصرف آب و شاخص حساسیت به تنش، در رقم نوتریفید و صفت نفوذپذیری نسبی غشا در رقم پیشاهنگ افزایش نشان دادند.

نفوذپذیری نسبی غشاء در هر دو رقم (ارزن نوتریفید و پیشاهنگ) با افزایش شدت تنش خشکی بیشتر شد، ولی نفوذپذیری نسبی غشاء در ارزن نوتریفید در همه سطوح خشکی از افزایش کمتری نسبت به رقم پیشاهنگ برخوردار بود که می‌تواند با توانایی ژنتیکی آن رقم در تحمل به خشکی، توانایی پاک‌سازی گونه‌های اکسیژن واکنش‌گر و سازوکارهای آنتی‌اکسیدانی کارآمدتر این رقم مرتبط باشد که در نتیجه این مکانیسم‌ها خسارت کمتری به غشای سلول وارد شده و نشت الکترولیت‌ها کاهش می‌یابد. برهمین اساس محتوای نسبی آب در رقم حساس کاهش بیشتری نشان داد. نتایج مشابهی در آزمایش تأثیر تنش خشکی بر گیاه گندم (*Triticum aestivum*) توسط پاکنژاد (Paknezhad, 2007) گزارش شد. کاهش پتانسیل اسمزی در رقم متحمل (ارزن نوتریفید) را می‌توان به تجمع مولکول‌های آلی و یون‌های معدنی در اندام هوایی مربوط داشت. بدین معنی که یون‌ها و ترکیبات آلی در واکوئل‌ها ذخیره شده است. رقم نوتریفید قادر به حفظ بهتر پتانسیل اسمزی در شرایط تنش بود. نتایج به‌دست آمده با آزمایش‌های قبلی انجام شده توسط مارتین و همکاران (Martin *et al.*, 1993) و شانون و همکاران (Shannon *et al.*, 1998) مطابقت داشت. حفظ شاخص کلروفیل منجر به دوام فتوسنتز برگ می‌شود و تنش خشکی سبب به آسیب اکسیداتیو به غشاها (نشت الکترولیت‌ها) و خسارت به کلروپلاست‌ها و در نتیجه تجزیه کلروفیل و کاهش شاخص کلروفیل می‌گردد. به نظر می‌رسد در شرایط تنش آب، زنجیره انتقال الکترون در فتوسیستم II مختل شده و در این وضعیت الکترون‌های حاصل از تجزیه آب، به سبب بازگشت به کاروفیل برانگیخته و تولید کلروفیل تریپلت از یک سو و یا نشت از زنجیره انتقال الکترون باعث تولید گونه‌های اکسیژن واکنش‌گر و در نتیجه خسارت به غشاء سلولی به دلیل پراکسیده شدن چربی‌ها، اکسیداسیون پروتئین‌ها و تجزیه کلروفیل می‌شوند. به نظر می‌رسد شیر امنیتی فرود غیر فتوشیمیایی نتوانسته در شرایط تنش سبب اتلاف انرژی الکترون‌های برنگیخته از طریق چرخه زانتوفیل و تولید حرارت غیر تشعشعی شود. در آزمایش تنش خشکی روی گیاه ذرت (*Zea mays*) توسط پاری و همکاران (Parry *et al.*, 2002) نتایج مشابهی اعلام شد. همبستگی مثبت و معنی‌دار بین شاخص کلروفیل، محتوای نسبی آب برگ و هدایت روزنه‌ای مشاهده شد (جدول ۴). احتمال دارد که با کاهش محتوای نسبی آب برگ و کاهش فتوسنتز طی تنش خشکی، حفاظت کمتری از محتوای کلروفیل در برابر خسارت ناشی از تنش خشکی صورت گرفته باشد. نتایج نشان داد با افزایش شدت تنش خشکی، رقم ارزن نوتریفید کاهش شاخص کلروفیل کمتری نسبت به رقم پیشاهنگ داشته است. گیاه در طی روز با بسته نگه داشتن روزنه‌ها تا حدی محتوی نسبی آب برگ را کنترل می‌نماید، بسته شدن روزنه‌ها باعث کاهش هدایت روزنه‌ای در نتیجه کاهش فتوسنتز و کاهش مصرف NADPH به‌عنوان عامل احیا و در نتیجه افزایش شدت خسارت ناشی از تنش اکسیداتیو و به دنبال آن تخریب غشاهای پلاسمایی از جمله غشای کلروپلاست و همچنین اکسیداسون ترکیبات پروتئینی و کلروفیل می‌گردد. این نتایج با

گزارش اشـلیمر و همکـاران (Schlemmer *et al.*, 2005) مطابقـت داشت. در این آزمایش با افزایش بیوسنتز پرولین طی تـنش خشـکی، پتانسیل اسمزی منفیتر شد. به نظر می‌رسد ساز و کـار نقـش پـرولین به‌عنوان یک تنظیم‌کننده اسمزی از یک سو، نقش آنتـی‌اکسـیدانتی و کمک به حفظ یکنواختی غشای سلول از طرف دیگر، در رقم نوتریفید به‌طور مؤثرتری در طی تنش خشکی عمل نموده اسـت زیـرا در رقـم پیشاهنگ علی‌رغم افزایش معنی‌دار پرولین نشت الکترولیت‌ها کاهش پیدا نکرده است. هدایت روزنه‌ای با عملکرد کوآنتومی فتوسیستم II و Fv/Fm همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت (جدول ۴). ارزن نوتریفیـد هدایت روزنه‌ای و عملکرد کوآنتومی فتوسیستم II بیشتری نسبت بـه رقم پیشاهنگ داشت. به نظر می‌رسد با بسـته تـر شـدن روزنـه‌هـا و کاهش هدایت روزنـه‌ای میـزان عملکـرد کوآنتـومی فتوسیسـتم II و Fv/Fm به دلیل افزایش میزان فلورسانس کلروفیل و همچنین تولیـد گونه‌های اکسیژن واکنش‌گر کاهش یافت. در مطالعه‌ای تحت شـرایط تــنش خشــکی در گیــاه آفتــابگردان، بیشــینه کــارایی کوآنتــومی فتوسیستم II، میزان انتقال الکترون، تبادل گـازی و جـذب و تحلیـل دی‌اکسید کربن کاهش یافت که با نتایج جواکوریا و همکاران (Joao-Correia *et al.*, 2006) مطابقــت داشــت. عملکــرد کوآنتــومی فتوسیستم II دارای همبستگی مثبت و معنی‌دار با شاخص کلروفیل و بیشینه عملکرد کوآنتومی فتوسیستم II بود. در شرایط تنش با کاهش کارایی جذب نور بـه‌وسـیله آنـتن فتوسیسـتم II، عملکـرد کوآنتـومی فتوسیستم II برای فرآینـدهای فتوشـیمیایی (احیـای کوئینـون A) و میزان حداکثر عملکرد کوآنتومی فتوسیستم II کاهش یافت ولی رقـم نوتریفید توانست کارایی کوآنتومی فتوسیسـتم II را در شـرایط تـنش به‌طور کارآمدتری حفظ نماید، لذا شرایط تنش را بهتـر تحمـل نمـود. هم‌چنین همبستگی بـالای شـاخص کلروفیـل و عملکـرد کوآنتـومی فتوسیستم II در شرایط تنش خشکی نشان داد با آسـیب بیشـتر بـه کلروفیل، کارایی آنتن‌های جمع‌آوری‌کننـده نـور و در نتیجـه ظرفیـت فتوسنتزی در شرایط تنش کاهش می‌یابد. با توجه به نتایج بـه‌دسـت آمده می‌توان چنین استنتاج نمود که در شرایط تـنش شـدید خشـکی، کاهش بیشینه عملکرد کوآنتومی فتوسیستم دو و عملکـرد کوآنتـومی فتوسیستم II می‌تواند ناشی از وقوع برخی آشفتگی‌ها در کلروپلاست بوده و کاهش شاخص کلروفیل نیز مؤیـد آن اسـت زیـرا فلورسـانس کلروفیـل بـه‌طـور مسـتقیم بـه فعالیـت کلروفیـل در مرکـز واکـنش فتوسیستم‌ها ارتباط داشته و می‌تـوان از آن بـه‌عنـوان معیـاری بـرای اندازه‌گیری کارآیی فتوسـنتز اسـتفاده نمـود. همبسـتگی بـالایی بـین بیشینه عملکرد کوآنتـومی فتوسیسـتم II، فـرود فتوشـیمیایی (تولیـد ATP و NADPH) و عملکرد کوآنتومی فتوسیستم II نشان می‌دهد که عملکرد کوآنتومی بـالاتر در شـرایط تـنش بـه‌طـور غیرمسـتقیم نشان‌دهنده سلامت دستگاه فتوسنتزی و قدرت رویش بهتر گیاه بوده است. در آزمایش اثر سرما و تنش خشکی ناشی از آن در بـرنج نتـایج مشابهی توسط حسیبی و همکاران (Hassibi *et al.*, 2007) گـزارش شد. نتایج شاخص حساسیت به تنش نشـان داد علـی‌رغـم اینکـه در تیمار تأمین ۵۰ درصد نیاز آبـی، رقـم نوتریفیـد نیمـه‌متحمـل و رقـم پیشاهنگ نیمه‌حساس بود ولی با افزایش شدت خشکی رقم نوتریفیـد نیمه‌حساس بود به تنش ارزیابی شد. لازم به ذکر است ارزن نوتریفیـد نسبت به پیشاهنگ هم در شرایط غیرتنش و هم در شـرایط تـنش از رشد و عملکرد بهتری برخوردار بود لذا به نظر می‌رسـد بتـوان از ایـن رقم در مناطقی که با محدودیت آب آبیـاری مواجـه مـی‌باشـند بـرای تولید علوفه مناسب بهره جست. تـنش خشـکی تـأثیر مسـتقیمی بـر کاهش کلروفیل و میزان هدایت روزنـه‌ای و در نتیجـه عملکـرد گیـاه دارد و کاهش شاخص کلروفیل می‌تواند در نتیجـه تخریـب کلروفیـل به‌واسطه محدودیت شدید آبی واقـع گـردد کـه بـه تبـع آن کـاهش فتوسنتز خالص اتفاق خواهد افتاد. کاهش میـزان فتوسـنتز مـی‌توانـد نتیجه تأثیر خشـکی بـر عوامـل روزنـه‌ای (هـدایت روزنـه‌ای) و غیـر روزنه‌ای (هم‌چون کـاهش عملکـرد کوآنتـومی فتوسیسـتم II) باشـد. جانسـون و همکـاران (Jonson *et al.*, 2000)، لـگ و همکـاران (Legg *et al.*, 2000) و یاداوا و همکـاران (Yadava *et al.*, 1989) نتایج مشابهی را گزارش نمودند.

بالا بودن بیشینه عملکرد کوآنتومی فتوسیسـتم II ارزن نوتریفیـد نشان می‌دهد که در شرایط تنش مقـدار فتوسـنتز بیشـتری برخـوردار بوده به‌طوری‌که عملکرد مـاده خشـک آن در شـرایط تـنش خشـکی شدید نیز بیشتر از رقم پیشاهنگ بود. بنابراین در شرایط تنش خشکی در گیاه ارزن چنانچه محتوای کلروفیل و کـارآیی دسـتگاه فتوسـنتزی گیاه در جذب نور و تولید انرژی حفظ گردد عملکرد ماده خشک علوفه بیشتری نیز تولید خواهد شـد. بـا نتـایج درویـش بلـوچی (Darvish Bluchi, 2010) در آزمایش تـنش خشـکی بـر گیـاه ذرت مطابقـت داشت. نسبت F_V/F_M معیاری از نحوه عملکرد فتوسنتز گیاهی است و مقدار این پارامتر برای اکثر گونه‌های گیاهی در شرایط معمول حـدود ۰/۸۳ مـی‌باشـد (Maxwell and Johnson, 2000). عملکـرد مـاده خشک با نفوذپذیری نسبی غشاء همبستگی منفی و معنـی‌دار داشـت (جدول ۴).

جدول ۲- میانگین مربعات اثر کود سبز و نیتروژن بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه خرفه در چین اول، دوم و مجموع دو چین

Table 2- Mean square of the effect of green manure and nitrogen on grain yield and its components of common Purslane (*Protulaca oleracea* L.) in the first harvest, second and total harvests

منابع تغییرات Source of variations	درجه آزادی df	عملکرد دانه Grain yield			وزن هزار دانه 1000 seed weight		تعداد دانه در کپسول Number of seeds per capsule		تعداد کپسول در بوته Number of capsules per plant	
		مجموع دو چین Total harvests	چین دوم Second harvest	چین اول First harvest	چین دوم Second harvest	چین اول First harvest	چین دوم Second harvest	چین اول First harvest	چین دوم Second harvest	چین اول First harvest
بلوک Replication	2	8919.77 ns	385.2 ns	6091.8 ns	0.001 ns	0.001 ns	20.9 ns	38.4 ns	3407.1 ns	1203.9 ns
کود سبز Green manure (A)	3	46384.42 ns	18402.9 ns	30097.9 ns	0.002 ns	0.0001 ns	10.4 ns	68.3 ns	25772.4 ns	4002.6 ns
خطای اول Error a	6	117246.78	20501	98248.6	0.0001	0.00001	30.1	45.6	8006.2	6151.4
نیتروژن Nitrogen (B)	2	95621.87 ns	44878.9**	13008.9 ns	0.001 ns	0.0001 ns	18.1 ns	28.7 ns	31659.4 **	4121.2 ns
کود سبز × نیتروژن (A×B)	6	45399.59 ns	15539.2 *	17109.6 n.s	0.001 ns	0.0001 ns	29.2 ns	18.1 ns	5810.5 *	19151.8 ns
خطای دوم Error b	16	44008.19	5950.7	27962.4	0.00001	0.000001	11.3	43.7	1864.04	8400.9
ضریب تغییرات (درصد) C.V. (%)		13.14	19.02	14.05	5.78	3.09	11.89	24.43	13.73	23.12

**، * و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح ۱٪، ۵٪ و غیر معنی‌دار می‌باشد.

**,* and ns are significant at 1% and 5% probability levels and non-significant, respectively

جدول ۹- میانگین مربعات اثر کود سبز و نیتروژن بر عملکرد و اجزای عملکرد علوفه خرفه درمجموع دو چین

Table 9- Mean square of the effect of green manure and nitrogen on forage yield and its components of common Purslane (*Protulaca oleracea* L.) in total harvests

منابع تغییرات Source of variations	درجه آزادی df	نسبت وزن خشک برگ به ساقه Leaf/Stem ratio	عملکرد علوفه خشک Dry forage yield	عملکرد خشک برگ Dry yield of leaf	عملکرد خشک ساقه Dry yield of stem	عملکرد علوفه تر Fresh forage yield	عملکرد تر برگ Fresh yield of leaf	عملکرد تر ساقه Fresh yield of stem
بلوک Replication	2	0.007^{ns}	0.03^{ns}	0.06^{ns}	0.03^{ns}	40.45^{ns}	2.09^{ns}	40.64^{ns}
کود سبز Green manure (A)	3	0.017^{ns}	0.18^{ns}	0.15^{ns}	0.02^{ns}	19.14^{ns}	1.24^{ns}	13.77^{ns}
خطای اول Error a	6	0.009	0.65	0.07	0.25	201.89	2.04	175.40
نیتروژن Nitrogen (B)	2	0.006^{ns}	1.18^{**}	0.36^{**}	0.69^{*}	172.26^{**}	9.49^{**}	109.81^{*}
کود سبز × نیتروژن (A×B)	6	0.007^{ns}	0.43^{ns}	0.05^{ns}	0.41^{ns}	55.95^{ns}	1.56^{ns}	44.42^{ns}
خطای دوم Error b	16	0.017	0.2	0.05	0.18	30.6	0.96	23.31
ضریب تغییرات (درصد) C.V. (%)		25.73	12.33	18.76	17	15.16	21.23	15.15

**، * و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح ۱٪، ۵٪ و غیر معنی‌دار می‌باشد.

**,* and ^{ns} are significant at 1% and 5% probability levels and non-significant, respectively.

بالا رفتن نفوذپذیری نسبی غشاء پلاسمایی سلول‌های برگ به معنای از دست رفتن قدرت انتخابی غشاء سلولی در برابر ورود و خروج یون‌ها و در نتیجه ورود و خروج الکترولیت‌ها و تجمع بیشتر املاح در فضاهای بین سلول‌های بافت مزوفیل برگ است که خود منجر به کاهش بیشتر در فعالیت‌های فتوسنتزی و تولید انرژی کافی جهت رشد اندام‌های گیاهی می‌گردد. در شرایط تنش خشکی گونه‌های اکسیژن واکنش‌گر در سلول افزایش می‌یابند و منجر به پراکسیداسیون لیپیدهای غشاهای بیولوژیکی می‌شوند. در نتیجه محتویات سلولی به بیرون نشت کرده و در نتیجه نشت الکترولیت‌ها هدایت الکتریکی آپوپلاست افزایش می‌یابد. با افزایش شدت تنش میزان عملکرد ماده خشک کاهش یافت. این کاهش در ارزن پیشاهنگ بیشتر از ارزن نوتریفید بود. عملکرد ماده خشک با هدایت روزنه‌ای و همبستگی مثبت و معنی‌داری نشان داد (جدول ۴). بر اساس نتایج حاصله ارزن نوتریفید در شرایط تنش خشکی با حفظ هدایت روزنه‌ای و ادامه فعالیت‌های فتوسنتزی و در نتیجه جذب آب بهتر، به‌طور مؤثرتری نسبت به ارزن پیشاهنگ به تولید ماده خشک ادامه داده است. با افزایش شدت تنش خشکی، فتوسنتز خالص در هر دو رقم کاهش می‌یابد و عملکرد مادهٔ خشک نیز به‌طور معنی‌دار تحت تاثیر آبیاری قرار می‌گیرد، در بررسی واکنش ارزن مرواریدی، سورگوم (*Sorghum vulgare*) و ذرت به رژیم‌های آبیاری نتایج مشابهی توسط سینگ و سینگ (Singh and Singh, 1995) گزارش شد. کاهش ماده خشک می‌تواند مرتبط با کاهش هدایت روزنه‌ای و نیز کاهش در غلظت رنگدانه‌های فتوسنتزی و یا تغییرات ایجاد شده در غلظت یونی باشد. همچنین عملکرد ماده خشک با شاخص کلروفیل، عملکرد کوآنتومی فتوسیستم II و Fv/Fm همبستگی مثبت و معنی‌دار نشان داد. همبستگی منفی و معنی‌دار نفوذپذیری نسبی غشاء و محتوای نسبی آب برگ نشان داد که در شرایط تنش به دلیل آسیب وارده به غشاء و افزایش نفوذپذیری و نشت الکترولیت‌ها، منجر به کاهش محتوای نسبی آب برگ و تغلیظ آپوپلاست ناشی از تجمع مواد آلی و معدنی و کاهش عملکرد ماده خشک گردید. نفوذپذیری نسبی غشاء با شاخص کلروفیل، عملکرد کوآنتومی فتوسیستم II، Fv/Fm، qP و NPQ همبستگی منفی و معنی‌داری داشت (جدول ۴). فرود غیر فتوشیمیایی انرژی الکترون برانگیخته، نشان‌دهنده اتلاف غیر تشعشعی (اتلاف حرارتی) انرژی جذب شده توسط فتوسیستم بوده و برطرف‌کننده برانگیختگی الکترون می‌باشد (Sheiber *et al*., 1986).

نتیجه‌گیری

ارزن نوتریفید نسبت به رقم پیشاهنگ هم در شرایط غیر تنش و هم در شرایط تنش از کارایی مصرف آب بهتری برخوردار بود و به‌نظر می‌رسد این رقم در شرایط محدودیت آب آبیاری بتواند از تولید علوفه مناسبی برخوردار باشد.

جدول ۳- نتایج تحمل یا حساسیت ارقام مورد آزمایش نسبت به تنش به روش فیشر و مائور (شاخص SSI)

Table 3- Tolerance or susceptibility results of the tested cultivars according to the method of Fisher and Muarer Stress Susceptibility Index (SSI)

SSI در تأمین ۲۵٪ نیاز آبی Provide 25% of water require		SSI در تأمین ۵۰٪ نیاز آبی Provide 50% of water require		SSI در تأمین ۷۵٪ نیاز آبی Provide 75% of water require		ارقام Cultivars
نیمه‌حساس (Semi susceptible)	1.06	نیمه‌متحمل (Semi tolerant)	0.94	نیمه‌متحمل (Semi tolerant)	0.56	نوتریفید (Nutrifeed)
نیمه‌حساس (Semi susceptible)	1.08	نیمه‌متحمل (Semi tolerant)	0.86	نیمه‌متحمل (Semi tolerant)	0.67	پیشاهنگ (Pishahang)

References

1. Baker, N. R., and Rosenqvist, E. 2004. Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. Journal of Experimental Botany 55: 1607-1621.
2. Badbezanchi, M., and Boroomand nasab, S. 2007. Evaluation of different irrigation levels on sugar beet yield components in strip drip irrigation. Ninth Congress of irrigation and reduce evaporation. Society of Irrigation and Water Engineering. Kerman, Shahid Bahonar University. (in Persian with English abstract).
3. Bates, L. S., Waldern, R. P., and Tear, I. D. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant and Soil 39: 205-207.
4. Benes, S. E., Aragues, R., Grattan, S. R., and Austin, R. B. 1996. Foliar and root absorption of Na^+ and Cl^- in maize and barley. Implications for salt tolerance screening and the use of saline sprinkler irrigation. Plant and Soil 180: 75-86.

5. Blum, A. 1999. Towards standard assay of drought resistance in crop plants. In J.M. Ribaut and D. Poland (Eds). M. A strategic planning workshop, 21-25 June 1999. CIMMYT, El Batan, Mexico.
6. Darvish-Baluchi, M., Paknezhad, M., Kashani, A., and Ardakani, M. 2010. Effect of drought stress and foliar nutrition of some micronutrients on chlorophyll fluorescence parameters, chlorophyll content, RWC, membrane stability, and grain yield. Journal of Field Crop Science 41 (2): 543-531.
7. Fracheboud, Y. 2006. Using chlorophyll fluorescence to study photosynthesis. Institute of Plant Sciences ETH, Universitat Strass, CH-8092 Zurich.
8. Francheboud, Y., and Leipner, J. 2003. The application of chlorophyll fluorescence to study light, temperature and drought stress. In: De-Ell, J. R., P. M. A. Tiovonen (Eds.). Practical applications of chlorophyll fluorescence in plant biology. Wiley, j. New York, Boston: Kluwer Academic Publishers. pp 125-150.
9. Fisher, R. A., and Muarer, R. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. Grain yield responses. Australian Journal of Agricultiral Researches 29: 897-912.
10. Gholam, C., and Foursy, A., and FARES, K. 2002. Effect of salt stress on growth, inorganic ions and proline accumulation in relation to osmotic adjustment in five sugar beet cultivars. Environmental and Experimental Botany Journal 47: 31-39.
11. Hassibi, P., Moradi, F., and Nabipour, M. 2007. Screening of rice genotypes for low temperature stress tolerance using chlorophyll fluorescence. Iranian Journal of Crop Science 9 (1): 14-31. (in Persian with English abstract).
12. Ibrahim, Y. M. 1985. Agronomical and physiological characters of pearl millet grown under a sprinkler irrigation gradient. Dissertation-abs-International. B-Sciences and Engineering 46: 1-15.
13. Joao-Correia, M., Leonor-osorio, M., Osorio, J., Barrote, I., Martins, M., and David, M. 2006. Influence of transient shad period on the effect of drought 0n photosynthesis, carbohydrate accumulation and lipid peroxidation in sun flower leaves. Environmental and Experimental Botany 58: 75-84.
14. Johnson, R., Frey, N. M., and Dale, N. 2002. Effect of water stress on photosynthesis and transpiration of flag leaves and spikes of barley and wheat. Crop Science 5: 728-731.
15. Johnson, G. N., Young, A. J., Scholes, J. D., and Horton, P. 1993. The dissipation of excess excitation energy in British plant species. Plant, Cell Environment 16: 673-679.
16. Kuznetsov, V. V., and Shevyakova, N. L. 1999. Proline under stress: Biological role metabolism and regulation. Russian Journal of Plant Physiology 46: 274-287.
17. Lawlor, D. W., and Cornic, G. 2002. Photosynthenic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. Plant cell and Environment 25: 275-294.
18. Legg, B. J., Day, W. D., Lawlor, W., and Parkinson, K. J. 2000. The effects of drought on barley growth: models and measurements showing the relative importance of leaf area and photosynthetic rate. The Journal of Agricultural Science 92: 703-716.
19. Martinez, J. P., Lutls, S., Schanck, A., and Bajji, M. 2004. Is osmotic adjustment required for water stress resistance in the Mediterranean shrub *Atriplex halmius* L. Plant Physiology 161: 1041-1051.
20. Martin, M., Micell, F., Morgan, J. A., Scalet, M., and Zebi, G. 1993. Synthesis of osmotically active substances in winter wheat leaves as related to drought resistance of different genotypes. Journal of Agronomy and Crop Science 171: 176-184.
21. Masoumi, A., Kafi, M., Nabati, J., Khazaie, H. R., Davary, K., and Zare-Mehrjerdi, M. 2008. Effect of drought stress on water status and electrolyte leakage of leaves, photosynthesis and chlorophyll fluorescence of two lots of Kochia (*Kochia scoparia*) at different developmental stages in saline condition. 484-476. Iranian Journal of Field Crops Research 10 (3): 476-484.
22. Masjedi, M., Shokouhifar, A., and Alavii Fazel, M. 2008. Determine the most appropriate Summer irrigation of Corn (hybrid SC704) and the effect of drought stress on Yield using information the evaporation pan class A. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources 12 (46): 550-543. (in Persian with English abstract).
23. Maxwell, K., and Johnson, G. N. 2000. Chlorophyll fluorescence- A practical guide. Experimenta Botany 51: 659-668.
24. Mehrabian moghadam, N., Arvin, M., Khajueenezhad, Gh., and Maghsudi, K. 2011. Effect of salicylic acid on the growth and yield of corn silage and grain in drought conditions on the farm. Journal of seeds and seedlings production 27: 41-55.
25. Paknejad, F., Nasri, M., and Tohidi Moghadam, H. R. 2007. Effects of drought stress on chlorophyll fluorescence parameters, chlorophyll content, and grain yield of wheat cultivars. Journal Biological Science 6: 841-847. (in Persian with English abstract).
26. Parry, M. A. J., Andraloje, P. J., Khan, S., Lea, P. J., and Keys, A. J. 2002. Rubisco activity: Effects of drought stress. Annals of Botany 89: 833-839.
27. Quisenberry, K. S., and Reitz, L. P. 1987. Wheat and Wheat Improvement. American Society of Agronomy. Inc. Madison, Wisconsin USA.

28. Rezaei, A. 1996. The relationship between the quality of flour and High molecular weight glutenin subunits in wheat. Iranian Journal of Agricultural Sciences 5: 21-11. (in Persian with English abstract).
29. Ritchie, S. W., and Nguyen, H. T. 1990. Leaf water content and gas exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. Crop Science 30: 105-111.
30. Schlemmer, M. R., Francis, D. D., Shanahan, J. F., and Schepers, J. S. 2005. Remotely measuring chlorophyll content in corn leaves with differing nitrogen levels and relative water content. Agronomy Journal 97: 86-95.
31. Shannon, M. C. 1998. Adaptation of plant to salinity. Advance Agronomy 60: 75-119.
32. Sheiber, V., and Schliwa, V. B. W. 1986. Continuous recording of photochemical and non- photochemical chlorophyll fluorescence quenching with a new type ofmodulation fluorimeter. Photosynthetic Research 10: 51-62.
33. Singh, B. R., and Singh, D. P. 1995. Agronomic and physiological responses of sorghum, maize and pearl millet to irrigation. Field Crops Research 42: 57- 67.
34. Slatter, S., and Stuart, P. 1995. Nutrifeed Descirpition, Agronomy and management forage. Agronomy Notes. Pacific Seeds. Queensland Australia pp 72-84.
35. Yadava, U. 1989. A rapid and nondestructive method to determine chlorophyll in intact leaves. Horticulture Science 21: 1449-1450.
36. Zhao, Y., Aspinall, D., and Paleg, L. G. 1992. Protection of membrane integrity in *Medicago salvia* L. by glycine betaine against the effects of freezing. Journal of Plant Physiology 140: 541-543.

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 16, No. 2, Summer. 2018, p. 333-344

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۶، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۷، ص. ۳۴۴-۳۳۳

Effect of Drought Stress on Chlorophyll Fluorescence and Forage Yield of Two Forage Millet Cultivars (*Pennisettum americanum var nutrifeed* and *Punicum sp var. pishahang*)

K. Najafi Babady[1] - P. Hassibi[2*] - H. Roshanfekr[2]– S. Broumand Nassab[3]

Received: 10-07-2016
Accepted: 28-02-2018

Introduction

Drought is dangerous to the successful production of agricultural products around the world. When drought occurs a combination of physical and environmental factors causes internal stress in plants and reduces production. Photosystem II plays an important role in higher plants to response the environmental factors. In recent years chlorophyll fluorescence techniques in ecophysiology have been considered as a rapid, sensitive and non-destructive method. Dry matter reduction can be due to cell swelling and pressure reduction because of reduced leaf area and photosynthetic pigments, especially chlorophyll. RWC is the best criteria of plant water status measurement. When plants affects by drought, salinity, low temperatures and other factors that reduce water potential of the cell sap they should increase their organic solute concentration to continue water absorption under stress conditions (osmotic adjustment). The aim of this study was investigating drought stress effects on photosynthesis and dry matter yield of two forage millet cultivars including Nutrifeed and Pishahang along with a discussion of some physiological characteristics and chlorophyll fluorescence change.

Materials and Methods

This experiment was carried out as factorial layout based on randomized complete block design with three replications at the Agricultural Research Station, Shahid Chamran University in 2010-2011. First factor was two forage millet cultivars including Nutrifeed and Pishahang. The second factor was three water stress levels as mild, moderate and severe drought including providing 100, 75, 50 and 25% water requirement. The amount of water in each treatment based on the 50, 100, 150, and 200 mm evaporation from class A evaporation pan that located in meteorology synoptic station in the vicinity of the research farm was calculated. The crop coefficient (Kc) was determined based on evapotranspiration and soil water depletion treatments and then set the curve traced FC and soil moisture, the amount of water requirement was calculated and finally the volume of irrigation water for treatments was provided. Traits including stomatal conductance, relative concentration of chlorophyll SPAD-502 osmotic potential, relative permeability of the membrane, proline, relative water content and chlorophyll fluorescence of the last developed leaf (leaf ligule was observed) in two conditions light adapted and dark adapted leaves were measured.

Results and Discussion

Results showed that the effect of stress levels on all traits was significant. The highest and lowest yield of dry matter were observed in the control treatment of Nutrifeed cultivar and 25% water requirement supply of Pishahang cultivar, respectively. Proline and relative permeability of the membrane over drought stress was more than the control in both cultivars and proline increased with increasing drought levels. The highest and lowest relative permeability of the membrane were observed in the Pishahang cultivar at 25% moisture supply and the control treatment of Nutrifeed cultivar, respectively. As increasing the stress intensity, relative water content, dry matter yield, osmotic potential, stomatal conductance, Fv/Fm, and qP, decreased. Dry matter had significant positive correlation with stomatal conductance, relative water content, SPAD value, Quantum yield of

1- Former M.Sc student, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz
2- Associate Professor, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz
3- Professor, Faculty of Water Science Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz
(*- Corresponding Author Email: paymanhassibi@gmail.com)

PSII, and Fv/Fm. It should be noted that Nutrifeed cultivar compared to the Pishahang cultivar under both normal and stress conditions had better water use efficiency. So it seems that Nutrifeed cultivar could be used as a suitable forage under water deficit conditions.

Conclusions

It seems that Nutrifeed cultivar is a suitable fodder crop for livestock feed production in the areas with water restrictions.

Keywords: Fv/Fm, Osmotic potential, Quantum yield of PSII, Relative water content